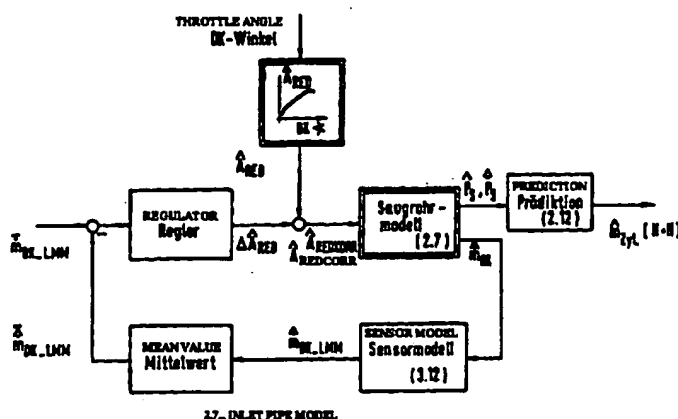




**PCT**  
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro  
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>F02D 41/18, 41/14</b>	<b>A1</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 96/32579</b>  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 17. Oktober 1996 (17.10.96)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE96/00615 (22) Internationales Anmeldedatum: 9. April 1996 (09.04.96) (30) Prioritätsdaten: 195 13 601.2        10. April 1995 (10.04.95)        DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): TREINIES, Stefan [DE/DE]; Käthe-Kollwitz-Strasse 65, D-93055 Regensburg (DE). ENGL, Maximilian [DE/DE]; Bayerwaldstrasse 9, D-93059 Regensburg (DE). RÖSEL, Gerd [DE/DE]; Meisenweg 3, D-01237 Dresden (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: BR, CA, CN, CZ, JP, KR, MX, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen</i> <i>Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen</i> <i>eintreffen.</i>

- (54) Title: PROCESS FOR FINDING THE MASS OF AIR ENTERING THE CYLINDERS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH THE AID OF A MODEL
- (54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM MODELLGESTÜTZTEN BESTIMMEN DER IN DIE ZYLINDER EINER BRENNKRAFT-MASCHINE EINSTRÖMENDE LUFTMASSE



(57) Abstract

Calculating the mass of air actually flowing into the cylinder with the aid of an inlet pipe filling model which, from the factor angle of throttle valve aperture, environmental pressure and parameters representing the valve control, provides a load value on the basis of which the injection time is determined. In addition, this load value is used in predictions for estimating the load value at a time at least one sampling step later than the actual calculation of the injection time.

BEST AVAILABLE COPY

# **(57) Zusammenfassung**

Berechnung der tatsächlich in den Zylinder einströmenden Luftmasse mit Hilfe eines Saugrohrfüllungsmodells, das aus den Eingangsgrößen Drosselklappenöffnungswinkel, Umgebungsdruck und Parametern, die die Ventilsteuerung repräsentieren, eine Lastgröße liefert, auf dessen Grundlage die Einspritzzeit bestimmt wird. Außerdem wird diese Lastgröße zur Prädiktion herangezogen, um die Lastgröße zu einem Zeitpunkt abzuschätzen, der mindestens einen Abtastschritt später liegt als die aktuelle Berechnung der Einspritzzeit.

## **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LK	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauritanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

## Beschreibung

Verfahren zum modellgestützten Bestimmen der in die Zylinder einer Brennkraftmaschine einströmenden Luftmasse

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum modellgestützten Bestimmen der in die Zylinder einer Brennkraftmaschine einströmenden Luftmasse nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

10 Motorsteuerungssysteme für Brennkraftmaschinen, die mit Kraftstoffeinspritzung arbeiten, benötigen die vom Motor angesaugte Luftmasse  $m_{Zyl}$  als ein Maß für die Motorlast. Diese Größe bildet die Basis zur Realisierung eines geforderten Kraftstoff-Luft-Verhältnisses. Wachsende Anforderungen an Mo-  
15 torsteuerungssysteme, wie die Verringerung der Schadstoffemission von Kraftfahrzeugen, bedingen, daß die Lastgröße für stationäre und instationäre Vorgänge mit geringen zulässigen Fehlern bestimmt werden muß. Neben den genannten Betriebsfällen bietet die genaue Lasterfassung während der Warmlaufphase  
20 der Brennkraftmaschine ein erhebliches Potential zur Schadstoffreduktion.

Bei luftmassengeführten Motorsteuerungssystemen stellt im Instationärbetrieb das als Lastsignal der Brennkraftmaschine  
25 dienende Signal des Luftmassenmessers, der stromaufwärts des Saugrohrs angeordnet ist, kein Maß für die tatsächliche Füllung der Zylinder dar, weil das Volumen des Saugrohrs stromabwärts der Drosselklappe als Luftspeicher wirkt, der befüllt und entleert werden muß. Die maßgebende Luftmasse für die  
30 Einspritzzeitberechnung ist aber diejenige Luftmasse, die aus dem Saugrohr heraus und in den jeweiligen Zylinder hineinströmt.

Bei saugrohrdruckgeführten Motorsteuerungssystemen gibt zwar  
35 das Ausgangssignal des Drucksensors die tatsächlichen Druckverhältnisse im Saugrohr wieder, die Meßgrößen stehen aber

u.a. aufgrund der notwendigen Mittelung der Meßgröße erst relativ spät zur Verfügung.

5 Mit der Einführung variabler Ansaugsysteme und variabler Ventilsteuerungen entstehen für empirisch gewonnene Modelle zur Gewinnung der Lastgröße aus Meßsignalen eine sehr große Vielzahl von Einflußgrößen, die die entsprechenden Modellparameter beeinflussen.

10 Auf physikalischen Ansätzen basierende modellgestützte Berechnungsmethoden stellen einen guten Ausgangspunkt zur genauen Bestimmung der Luftmasse  $m_{Zyl}$  dar.

15 Aus der DE 39 19 488 C2 ist eine Vorrichtung zur Regelung und zur Vorausbestimmung der Ansaugluftmenge einer saugrohrdruckgeführten Brennkraftmaschine bekannt, bei der der Drosselklappenöffnungsgrad und die Motordrehzahl als Grundlage zur Berechnung des derzeitigen Wertes der in den Brennraum der Maschine eingesaugten Luft verwendet werden. Diese berechnete, gegenwärtige Ansaugluftmenge wird dann als Grundlage  
20 zur Berechnung des vorausbestimmten Wertes für die Ansaugluftmenge, die in den Brennraum der Maschine zu einer bestimmten Zeit von dem Punkt an, an dem die Berechnung ausgeführt wurde, einzusaugen ist, benutzt. Das Drucksignal, das  
25 stromabwärts der Drosselklappe gemessen wird, wird mit Hilfe von theoretischen Beziehungen korrigiert, so daß eine Verbesserung der Bestimmung der angesaugten Luftmasse erreicht und damit eine genauere Berechnung der Einspritzzeit möglich ist.

30 Im instationären Betrieb der Brennkraftmaschine ist es aber wünschenswert, die Bestimmung der in die Zylinder einströmenden Luftmasse noch genauer durchzuführen.

35 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren anzugeben, mit dem die tatsächlich in den Zylinder der Brennkraftmaschine einströmende Luftmasse mit hoher Genauigkeit bestimmt werden kann. Außerdem sollen systembedingte Totzei-

ten, die aufgrund der Kraftstoffvorlagerung und der Rechenzeit bei der Berechnung der Einspritzzeit auftreten können, kompensiert werden.

- 5 Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen finden sich in den Unteransprüchen.

10

- Ausgehend von einem bekannten Ansatz ergibt sich eine Modellbeschreibung, die auf einer nichtlinearen Differentialgleichung basiert. Im folgenden wird eine Approximation dieser nichtlinearen Gleichung vorgestellt. Im Ergebnis dieser
- 15 Approximation läßt sich das Systemverhalten mittels einer bilinearen Gleichung beschreiben, die die schnelle Lösung der Beziehung im Motorsteuergerät des Kraftfahrzeugs unter Echtzeitbedingungen gestattet. Der gewählte Modellansatz beinhaltet dabei die Modellierung von variablen Saugsystemen und Systemen mit variablen Ventilsteuerungen. Die durch diese Anordnung und durch dynamische Nachladung, d.h. durch Reflexionen von Druckwellen im Saugrohr hervorgerufenen Effekte, können ausschließlich durch die Wahl stationär bestimmbarer Parameter des Modelles sehr gut berücksichtigt werden. Alle Modellparameter sind einerseits physikalisch interpretierbar
- 20 und andererseits ausschließlich aus stationären Messungen zu gewinnen.
- 25

- Die meisten Algorithmen zur zeitdiskreten Lösung der Differentialgleichung, die das Verhalten des hier genutzten Modelles beschreibt, erfordern vor allem bei geringem Druckabfall über der Drosselklappe, d.h. bei Vollast eine sehr kleine Rechenschrittweite, um numerisch stabil zu arbeiten. Die Folge wäre ein unvertretbarer Rechenaufwand bei der Bestimmung der
- 30 Lastgröße. Da Lasterfassungssysteme meist segmentsynchron arbeiten, d.h. für 4-Zylindermotoren wird alle 180° KW ein Meßwert abgetastet, muß die Modellgleichung ebenfalls segment-
- 35

synchron gelöst werden. Im nachfolgenden wird ein absolut stabiles Differenzenschema zur Lösung von Differentialgleichungen eingesetzt, das numerische Stabilität bei beliebiger Schrittweite garantiert.

5

Das erfindungsgemäße modellgestützte Berechnungsverfahren bietet zudem die Möglichkeit einer Prädiktion des Lastsignales um eine wählbare Anzahl von Abtastschritten, d.h. eine Vorhersage des Lastsignales mit variablem Prädiktionshorizont. Wird die dem Prädiktionshorizont bei konstanter Drehzahl proportionale Prädiktionszeit nicht zu groß, so erhält man ein prädiziertes Lastsignal hoher Genauigkeit.

15 Eine solche Vorhersage ist notwendig, da zwischen der Erfassung relevanter Meßwerte und der Berechnung der Lastgröße eine Totzeit entsteht. Desweiteren muß aus Gründen der Gemischaufbereitung vor dem eigentlichen Beginn der Ansaugphase des jeweiligen Zylinders möglichst genau die Kraftstoffmasse über die Einspritzventile zugemessen werden, die im Verlauf  
20 der kommenden Ansaugphase im gewünschten Verhältnis zur Luftmasse  $m_{Zyl}$  steht. Ein variabler Prädiktionshorizont verbessert die Güte der Kraftstoffzumessung im instationären Motorbetrieb. Da bei steigender Drehzahl die Segmentzeit abnimmt, muß der Einspritzvorgang eine größere Anzahl von Segmenten  
25 eher beginnen, als dies bei einer niedrigeren Drehzahl der Fall ist. Um die zu dosierende Kraftstoffmasse möglichst exakt bestimmen zu können, ist die Prädiktion der Lastgröße um die Anzahl von Segmenten, um die die Kraftstoffvorlagerung vorgenommen wird, notwendig, um ein gefordertes Kraftstoff-  
30 Luft-Verhältnis auch in diesem Fall einzuhalten. Die Prädiktion der Lastgröße trägt somit aus einer wesentlichen Verbesserung der Einhaltung des geforderten Kraftstoff-Luft-Verhältnisses im instationären Motorbetrieb bei. Dieses System zur modellgestützten Lasterfassung ist in den bekannten Motorsteuerungssystemen, d.h. bei luftmassengeführte bzw. saugrohrdruckgeführte Motorsteuerungssysteme wird im folgenden  
35 ein Korrekturalgorithmus in Form eines Modellregelkreises

formuliert, der bei auftretenden Ungenauigkeiten von Modellparametern eine permanente Genauigkeitsverbesserung, d.h. einen Modellabgleich im stationären und instationären Betrieb gestattet.

5

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens wird anhand der nachfolgenden schematischen Zeichnungen beschrieben. Dabei zeigen:

- 10    Figur 1 eine Prinzipskizze zum Saugsystem einer Otto-Brennkraftmaschine einschließlich der entsprechenden Modell- und Meßgrößen,  
      Figur 2 die Durchflußfunktion und die dazugehörige Polygonzugapproximation,  
15    Figur 3 eine Prinzipdarstellung zum Modellregelkreis für luftmassengeführte Motorsteuerungssysteme und  
      Figur 4 eine Prinzipdarstellung zum Modellregelkreis für saugrohrdruckgeführte Motorsteuerungssysteme.
- 20    Bei der modellgestützten Berechnung der Lastgröße  $\hat{m}_{Zyl}$  wird von der in Figur 1 dargestellten prinzipiellen Anordnung ausgegangen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird dabei nur ein Zylinder der Brennkraftmaschine dargestellt. Mit dem Bezugszeichen 10 ist dabei ein Saugrohr einer Brennkraftmaschine  
25    bezeichnet, in dem eine Drosselklappe 11 angeordnet ist. Die Drosselklappe 11 ist mit einem, den Öffnungsgrad der Drosselklappe ermittelnden Drosselklappenstellungsfühler 14 verbunden. Stromaufwärts der Drosselklappe 11 ist bei einem luftmassengeführten Motorsteuerungssystem ein Luftmassenmesser 12  
30    angeordnet, während bei einem saugrohrdruckgeführten Motorsteuerungssystem ein Saugrohrdruckfühler 13 im Saugrohr angeordnet ist. Je nach Art der Lasterfassung ist somit nur eine der beiden Komponenten 12, 13 vorhanden. Die Ausgänge des Luftmassenmessers 12, des Drosselklappenstellungsgebers 14  
35    und des zum Luftmassenmesser 12 alternativ vorhandenen Saugrohrdrucksensors 13 sind mit Eingängen einer nicht dargestellten, an sich bekannten elektronischen Steuerungseinrich-

tung der Brennkraftmaschine verbunden. Außerdem sind in Figur 1 noch schematisch ein Einlaßventil 15, ein Auslaßventil 16, sowie ein in einem Zylinder 17 beweglichen Kolben 18 dargestellt.

5

Außerdem sind in Figur 1 ausgewählte Größen bzw. Parameter des Saugsystems eingezeichnet. Dabei bedeutet das Dachsymbol " $\wedge$ " über einer Größe, daß es sich um eine Modellgröße handelt, während Größen ohne Dachsymbol " $\wedge$ " Meßgrößen repräsentieren. Im einzelnen bedeuten:

10

$P_U$  Umgebungsdruck,  $P_S$  Saugrohrdruck,  $T_S$  Temperatur der Luft im Saugrohr,  $V_S$  das Volumen des Saugrohrs.

15

Größen mit einem Punktsymbol kennzeichnen die erste zeitliche Ableitung der entsprechenden Größen.  $\dot{m}_{DK}$  ist somit der Luftmassenstrom an der Drosselklappe und  $\dot{m}_{Zyl}$  ist der Luftmassenstrom der tatsächlich in den Zylinder der Brennkraftmaschine einströmt.

20

Die grundlegende Aufgabe bei der modellgestützten Berechnung des Motorlastzustandes besteht nun in der Lösung der Differentialgleichung für den Saugrohrdruck

$$25 \quad \hat{\dot{P}}_S = \frac{R_L \cdot T_S}{V_S} \cdot \left( \hat{\dot{m}}_{DK} - \hat{\dot{m}}_{Zyl} \right), \quad (2.1)$$

die sich unter der Voraussetzung konstanter Temperatur der Luft im Saugrohr  $T_S$  aus der Zustandsgleichung idealer Gase herleiten läßt.

30

Mit  $R_L$  ist dabei die allgemeine Gaskonstante bezeichnet.

Die Lastgröße  $\hat{\dot{m}}_{Zyl}$  wird durch Integration aus dem Zylinder-massenstrom  $\hat{\dot{m}}_{Zyl}$  bestimmt. Die durch (2.1) beschriebenen Verhältnisse sind auf Mehrzylinder-Brennkraftmaschinen mit



Schwingrohr- (Schaltsaugrohr-) und/oder Resonanzsaugsysteme ohne strukturelle Änderungen anwendbar.

Für Systeme mit Multi-Point-Einspritzungen, bei denen die Kraftstoffzumessung durch mehrere Einspritzventile erfolgt, gibt die Gleichung (2.1) die Verhältnisse genauer wieder als dies bei Single-Point-Einspritzungen, d.h. bei Einspritzungen, bei denen der Kraftstoff mittels eines einzigen Kraftstoffeinspritzventiles zugemessen wird, der Fall ist. Bei erstgenannter Art der Kraftstoffzumessung ist nahezu das gesamte Ansaugsystem mit Luft gefüllt. Lediglich in einem kleinen Bereich vor den Einlaßventilen befindet sich ein Kraftstoff-Luftgemisch. Im Gegensatz dazu ist bei Single-Point-Einspritzsystemen das gesamte Saugrohr von der Drosselklappe bis zum Einlaßventil mit Kraftstoff-Luft-Gemisch gefüllt, da das Einspritzventil vor der Drosselklappe angeordnet ist. In diesem Fall stellt die Annahme eines idealen Gases eine stärkere Näherung dar, als dies bei der Multi-Point-Einspritzung der Fall ist. Bei Single-Point-Einspritzung erfolgt die Kraftstoffzumessung entsprechend  $\hat{m}_{DK}$ , bei Multi-Point-Einspritzung entsprechend  $\hat{m}_{Zyl}$ .

Im folgenden wird die Berechnung der Massenströme  $\hat{m}_{DK}$  und  $\hat{m}_{Zyl}$  näher beschrieben.

Die Modellgröße des Luftmassenstromes an der Drosselklappe  $\hat{m}_{DK}$  wird durch die Durchflußgleichung idealer Gase durch Drosselstellen beschrieben. An der Drosselstelle auftretende Strömungsverluste werden durch den reduzierten Strömungsquerschnitt  $\hat{A}_{RED}$  berücksichtigt. Der Luftmassenstrom  $\hat{m}_{DK}$  wird demnach durch die Beziehung

$$\hat{m}_{DK} = \hat{A}_{RED} \cdot \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot \frac{1}{R_L \cdot T_S}} \cdot \hat{P}_U \cdot \psi$$

mit

$$\psi = \sqrt{\left(\frac{\hat{P}_S}{\hat{P}_U}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{\hat{P}_S}{\hat{P}_U}\right)^{\left(\frac{\kappa+1}{\kappa}\right)}} \quad \text{für überkritische Druckverhältnisse}$$

bzw.

$$\psi = \text{const. für kritische Druckverhältnisse} \quad (2.2)$$

bestimmt.

- $\hat{m}_{DK}$ : Modellgröße des Luftmassenstromes an der Drosselklappe
- 15  $\hat{A}_{RED}$ : reduzierter Strömungsquerschnitt
- $\kappa$ : Adiabatenexponent
- $R_L$ : allgemeine Gaskonstante
- $T_S$ : Temperatur der Luft im Saugrohr
- $\hat{P}_U$ : Modellgröße des Umgebungsdruckes
- 20  $\hat{P}_S$ : Modellgröße des Saugrohrdruckes
- $\psi$ : Durchflußfunktion.

An der Drosselstelle, d.h. an der Drosselklappe auftretende Strömungsverluste werden über die geeignete Wahl von  $\hat{A}_{RED}$  berücksichtigt. Aus stationären Messungen kann bei bekannten Drücken vor und hinter der Drosselstelle und bekanntem Massenstrom durch die Drosselstelle eine Zuordnung zwischen dem vom Drosselklappenstellungsfühler 14 ermittelten Drosselklappenwinkel und dem entsprechendem reduzierten Querschnitt  $\hat{A}_{RED}$  angegeben werden.

Wird der Luftmassenstrom  $\hat{m}_{DK}$  an der Drosselklappe durch die Beziehung (2.2) beschrieben, so entsteht ein komplizierter

Algorithmus zur numerisch richtigen Lösung der Differentialgleichung (2.1). Zur Reduktion des Rechenaufwandes wird die Durchflußfunktion  $\psi$  durch einen Polygonzug approximiert.

- 5 Figur 2 zeigt den Verlauf der Durchflußfunktion  $\psi$  und das darauf angewandte Approximationsprinzip. Innerhalb eines Abschnittes  $i$  ( $i = 1 \dots k$ ) wird die Durchflußfunktion  $\psi$  durch eine Gerade dargestellt. Mit einer vertretbaren Anzahl von Geradenabschnitten kann damit eine gute Approximation erreicht werden. Durch einen solchen Ansatz kann die Gleichung (2.2) zur Berechnung des Massenstromes an der Drosselklappe  $\hat{m}_{DK}$  durch die Beziehung

$$\hat{m}_{DK\_APPROX} = \hat{A}_{RED} \cdot \sqrt{\frac{2\kappa}{k-1} \cdot \frac{1}{R_L \cdot T_S}} \cdot \hat{P}_U \cdot \left( m_i \frac{\hat{P}_S}{\hat{P}_U} + n_i \right) \quad (2.3)$$

15

für  $i = (1 \dots k)$   
approximiert werden.

- In dieser Form beschreibt  $m_i$  die Steigung und  $n_i$  das Absolutglied des jeweiligen Geradenabschnittes. Die Werte für die Steigung und für das Absolutglied werden in Tabellen als Funktion des Verhältnisses Saugrohrdruck zu Umgebungsdruck  $\frac{\hat{P}_S}{\hat{P}_U}$  abgelegt.

- 25 Auf der Abszisse von Figur 2 ist dabei das Druckverhältnis  $\frac{\hat{P}_S}{\hat{P}_U}$  und auf der Ordinate der Funktionswert (0 - 0.3) der Durchflußfunktion  $\psi$  aufgetragen.

Für Druckverhältnisse  $\frac{\hat{P}_S}{\hat{P}_U} \leq \left( \frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$  ist  $\psi = \text{konstant}$ , d.h.

- 30 daß der Durchfluß an der Drosselstelle nur noch vom Querschnitt abhängig ist und nicht mehr von den Druckverhältnis-

sen. Die in die jeweiligen Zylinder der Brennkraftmaschine einströmende Luftmasse läßt sich analytisch nur schwer bestimmen, da sie stark vom Ladungswechsel abhängt. Die Füllung der Zylinder wird weitestgehend durch den Saugrohrdruck, die  
5 Drehzahl und durch die Ventilsteuerzeiten bestimmt.

Zur möglichst genauen Berechnung des Massenstroms in den jeweiligen Zylinder  $\hat{m}_{Zyl}$  ist deshalb einerseits die Beschreibung der Verhältnisse im Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine  
10 mittels partieller Differentialgleichungen und andererseits die Berechnung des Massenstromes am Einlaßventil nach der Durchflußgleichung als erforderliche Randbedingung notwendig. Erst dieser komplizierte Ansatz gestattet die Berücksichtigung dynamischer Nachladeeffekte, die von der Drehzahl, der  
15 Saugrohrgeometrie, der Zylinderzahl sowie den Ventilsteuerzeiten maßgeblich beeinflußt werden.

Da eine Berechnung nach oben genanntem Ansatz in der elektronischen Steuerungseinrichtung der Brennkraftmaschine nicht  
20 realisierbar ist, geht eine mögliche Näherung von einem einfachen Zusammenhang zwischen Saugrohrdruck  $\hat{P}_s$  und Zylindermassenstrom  $\hat{m}_{Zyl}$  aus. Für einen weiten Bereich der sinnvollen Ventilsteuerzeiten kann dafür in guter Näherung von einem linearen Ansatz der Form

$$\hat{m}_{Zyl\_APPROX} = \gamma_1 \cdot \hat{P}_s + \gamma_0 \quad (2.4)$$

ausgegangen werden.

30 Die Steigung  $\gamma_1$  und das Absolutglied  $\gamma_0$  der Beziehung (2.4) sind dabei, unter Berücksichtigung aller wesentlichen Einflußfaktoren Funktionen der Drehzahl, der Saugrohrgeometrie, der Zylinderzahl, der Ventilsteuerzeiten sowie der Temperatur der Luft im Saugrohr  $T_s$ . Die Abhängigkeit der Werte von  $\gamma_1$   
35 und  $\gamma_0$  von den Einflußgrößen Drehzahl, Saugrohrgeometrie, Zy-

linderzahl und den Ventilsteuerzeiten und Ventilerhebungskurven kann dabei über stationäre Messungen ermittelt werden. Über diese Wertebestimmung wird ebenfalls der Einfluß von Schwingrohr- und/oder Resonanzsaugsystemen auf die von der Brennkraftmaschine angesaugte Luftmasse gut wiedergegeben. Die Werte von  $\gamma_1$  und  $\gamma_0$  sind in Kennfeldern der elektronischen Motorsteuerungseinrichtung abgelegt.

Als bestimmende Größe zur Ermittlung der Motorlast wird der Saugrohrdruck  $P_S$  ausgewählt. Mit Hilfe der Modell-Differentialgleichung soll diese Größe möglichst exakt und schnell geschätzt werden. Die Schätzung von  $\hat{P}_S$  erfordert die Lösung der Gleichung (2.1).

Mit den anhand der Formeln (2.2) und (2.3) eingeführten Vereinfachungen kann (2.1) durch die Beziehung

$$\hat{P}_S = \frac{R_L \cdot T_S}{V_S} \cdot \left( \hat{A}_{RED} \cdot \sqrt{\frac{2\kappa}{k-1}} \cdot \frac{1}{R_L \cdot T_S} \cdot \hat{P}_U \cdot \left\{ m_i \cdot \frac{\hat{P}_S}{\hat{P}_U} + n_i \right\} - \left\{ \gamma_1 \cdot \hat{P}_S + \gamma_0 \right\} \right)$$

für  $i = (1 \dots k)$  (2.5)

approximiert werden. Betrachtet man, entsprechend den Voraussetzungen zur Herleitung von Gleichung (2.1), die Temperatur der Luft im Saugrohr  $T_S$  als eine langsam veränderliche Meßgröße sowie  $\hat{A}_{RED}$  als Eingangsgröße, so läßt sich die nicht-lineare Form der Differentialgleichung (2.1) durch die bilineare Gleichung (2.5) approximieren.

Zur Lösung der Gleichung (2.5) wird diese Beziehung in eine geeignete Differenzengleichung übergeführt.

Als Kriterium zur Auswahl des geeigneten Differenzenschemas können die folgenden prinzipiellen Anforderungen an die Lösungseigenschaften der zur bildenden Differenzengleichung formuliert werden:

1. Das Differenzenschema muß auch unter extremen dynamischen Anforderungen konservativ sein, d.h. die Lösung der Differenzengleichung muß der Lösung der Differentialgleichung entsprechen,
2. die numerische Stabilität muß zu Abtastzeiten, die den maximal möglichen Segmentzeiten entsprechen, im gesamten Arbeitsbereich das Saugrohrdruckes garantiert sein.

Forderung 1 ist durch einen impliziten Rechenalgorithmus erfüllbar. Aufgrund der Approximation der nichtlinearen Differentialgleichung (2.1) durch eine bilineare Gleichung ist das entstehende implizite Lösungsschema ohne Einsatz iterativer Verfahren lösbar, da die Differenzengleichung in eine explizite Form überführt werden kann.

Die zweite Forderung ist aufgrund der Konditionierung der Differentialgleichung (2.1) und deren Approximation (2.5) nur durch eine Rechenvorschrift zur Bildung der Differenzengleichung erfüllbar, die absolut stabil arbeitet. Diese Verfahren werden auch als A-stabile Verfahren bezeichnet. Kennzeichnend für diese A-Stabilität ist die Eigenschaft des Algorithmus, bei einem stabilen Ausgangsproblem für beliebige Werte der Abtastzeit, d.h. Segmentzeit  $T_A$  numerisch stabil zu sein. Eine mögliche Rechenvorschrift zur numerischen Lösung von Differentialgleichungen, die beiden Forderungen gerecht wird, ist die Trapezregel.

Die durch Anwendung der Trapezregel entstehende Differenzengleichung lautet im vorliegenden Fall

$$\hat{P}_s [N] = \hat{P}_s [N-1] + \frac{T_A}{2} \cdot \left( \hat{P}_s' [N-1] + \hat{P}_s' [N] \right)$$

für  $N = (1.. \infty)$  (2.6)

definiert.

Wird diese Vorschrift auf (2.5) angewandt, so ergibt sich die Beziehung

$$\begin{aligned} \hat{P}_S [N] = & \frac{\hat{P}_S [N-1] + \frac{T_A}{2} \cdot \dot{\hat{P}}_S [N-1]}{1 - \frac{T_A}{2} \cdot \frac{R_L \cdot T_S}{V_S} \cdot \left( \hat{A}_{RED} \cdot \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot \frac{1}{R_L \cdot T_S}} \cdot m_i - \gamma_1 \right)} + \\ & \frac{\frac{T_A}{2} \cdot \frac{R_L \cdot T_S}{V_S} \cdot \left( \hat{A}_{RED} \cdot \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot \frac{1}{R_L \cdot T_S}} \cdot \hat{P}_U \cdot n_i - \gamma_0 \right)}{1 - \frac{T_A}{2} \cdot \frac{R_L \cdot T_S}{V_S} \cdot \left( \hat{A}_{RED} \cdot \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot \frac{1}{R_L \cdot T_S}} \cdot m_i - \gamma_1 \right)} \end{aligned}$$

für  $N = (1 \dots \infty)$  und  $i = (1 \dots k)$  (2.7)

zur Berechnung des Saugrohrdruckes  $\hat{P}_S [N]$  als Maß für die Motorlast.

[N] bedeutet dabei das aktuelle Segment bzw. der aktuelle Rechenschritt, [N+1] das nächstfolgende Segment bzw. der nächstfolgende Rechenschritt.

Im folgenden wird die Berechnung des aktuellen und prädizierten Lastsignales beschrieben.

20

Aus dem berechneten Saugrohrdruck  $\hat{P}_S$  kann der Luftmassenstrom  $\dot{\hat{m}}_{Zyl}$  der in die Zylinder einströmt, durch die Beziehung (2.4) ermittelt werden. Wendet man einen einfachen Integrationsalgorithmus an, so erhält man für die während eines Ansaugtaktes von der Brennkraftmaschine angesaugte Luftmasse die Beziehung

30

für  $N = (1 \dots \infty)$

(2.8)

$$\hat{m}_{Zyl} [N] = \frac{T_A}{2} \cdot \left( \dot{\hat{m}}_{Zyl} [N-1] + \dot{\hat{m}}_{Zyl} [N] \right)$$

Dabei wird davon ausgegangen, daß der Anfangswert der Lastgröße null ist. Für die segmentsynchrone Lasterfassung sinkt mit steigender Drehzahl die Segmentzeit, während die Segmentanzahl, um die eine Kraftstoffvorlagerung vorgenommen wird, steigen muß. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die Prädiktion des Lastsignals für einen veränderlichen Prädiktionshorizont H, d.h. für eine bestimmte, in erster Linie drehzahlabhängige Anzahl H von Segmenten, auszulegen. Berücksichtigt man diesen veränderlichen Prädiktionshorizont H, so kann Gleichung (2.8) in der Form

$$\hat{m}_{Zyl}[N+H] = \frac{T_A}{2} \cdot \left( \hat{m}_{Zyl}[N+H-1] + \hat{m}_{Zyl}[N+H] \right)$$

für  $N = (1.. \infty)$  (2.9)

geschrieben werden.

Für die weiteren Überlegungen wird davon ausgegangen, daß sich die Segmentzeit  $T_A$  und die Parameter  $\gamma_1$  und  $\gamma_0$  der Beziehung (2.4), die zur Bestimmung des Massenstromes  $\hat{m}_{Zyl}$  aus dem Saugrohrdruck  $\hat{P}_s$  erforderlich sind, über die Prädiktionszeit nicht ändern.

Unter dieser Voraussetzung wird die Prädiktion eines Wertes für  $\hat{m}_{Zyl}[N+H]$  durch die Prädiktion des entsprechenden Druckwertes  $\hat{P}_s[N+H]$  erreicht. Dadurch nimmt die Gleichung (2.9) die Form

$$\hat{m}_{Zyl}[N] = \frac{T_A}{2} \cdot \left( \gamma_1 \cdot \left\{ \hat{P}_s[N+H-1] + \hat{P}_s[N+H] \right\} + 2 \cdot \gamma_0 \right)$$

für  $N = (1.. \infty)$  (2.10)

an.

Da bei dem beschriebenen Verfahren die zeitliche Änderung des Saugrohrdruckes  $\hat{P}_s$  in analytischer Form vorliegt, wird im folgenden die Prädiktion des Druckwertes  $\hat{P}_s[N+H]$  durch H-



fache Anwendung der Trapezregel erreicht. In diesem Fall erhält man die Beziehung

$$\hat{P}_s [N+H] = \hat{P}_s [N] + \frac{T_A}{2} \cdot H \cdot \left( \hat{P}_s [N-1] + \hat{P}_s [N] \right)$$

5

für  $N = (1.. \infty)$

(2.11).

Bestimmt man den Druck  $\hat{P}_s [N+H-1]$  in analoger Weise, so kann für das prädizierte Lastsignal die Gleichung

10

$$\hat{m}_{Zyl} [N+H] = T_A \cdot \left\{ \gamma_1 \cdot \left[ \hat{P}_s [N] + (H-0.5) \cdot \frac{T_A}{2} \cdot \left[ \hat{P}_s [N-1] + \hat{P}_s [N] \right] \right] + \gamma_0 \right\}$$

für  $N = (1.. \infty)$

(2.12)

15

angegeben werden.

Wählt man für den Prädiktionshorizont  $H$  Werte in der Größenordnung von 1...3 Segmenten, so kann mit der Formel (2.12) ein gut prädiziertes Lastsignal erhalten werden.

20

Im folgenden wird das Prinzip des Modellabgleichs für luftmassen- und saugrohrdruckgeführte Motorsteuerungssysteme erklärt.

25

Bedingt durch den Einsatz von Motoren mit variabler Ventilsteuerung und/oder veränderlicher Saugrohrgeometrie, durch Fertigungstoleranzen und Alterungserscheinungen, sowie durch Temperatureinflüsse sind die Werte von  $\gamma_1$  und  $\gamma_0$  mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Die Parameter der Gleichung zur Bestimmung des Massenstromes in den Zylindern sind, wie oben beschrieben, Funktionen vielfältiger Einflußgrößen, von denen nur die wichtigsten erfaßt werden können.

30

Bei der Berechnung des Massenstromes an der Drosselklappe wirken sich Meßfehler bei der Erfassung des Drosselklappenwinkels und Approximationsfehler bei der Polygonzugapproxima-

tion der Durchflußfunktion  $\psi$  auf die Modellgrößen aus. Besonders bei kleinen Drosselklappenwinkeln ist die Systemempfindlichkeit gegenüber erstgenannten Fehlern besonders hoch. Daraus ergibt sich, daß kleine Änderungen der Drosselklappenstellung einen gravierenden Einfluß auf Massenstrom bzw. Saugrohrdruck haben. Um die Wirkung dieser Einflüsse zu reduzieren, wird im folgenden ein Verfahren vorgeschlagen, das es gestattet, bestimmte Größen, die Einfluß auf die Modellrechnung haben, so zu korrigieren, daß eine genauigkeitsverbessernde Modellanpassung für stationären und instationären Motorbetrieb durchgeführt werden kann.

Die Anpassung wesentlicher Parameter des Modells zur Bestimmung der Lastgröße der Brennkraftmaschine erfolgt durch die Korrektur des aus dem gemessenen Drosselklappenwinkel bestimmten reduzierten Querschnitts  $\hat{A}_{RED}$  durch die Korrekturgröße  $\Delta \hat{A}_{RED}$ .

Die Eingangsgröße zur korrigierten Saugrohrdruckberechnung  $\hat{A}_{RED}$  wird damit durch die Beziehung

$$\hat{A}_{REDKORR} = \hat{A}_{RED} + \Delta \hat{A}_{RED} \quad (3.11)$$

beschrieben.

In der Gleichung (2.2) und nachfolgenden Formeln wird dann  $\hat{A}_{RED}$  durch  $\hat{A}_{REDKORR}$  ersetzt. Zur Verbesserung des Folgeverhaltens des Regelkreises wird der aus dem Meßwert des Drosselklappenwinkels abgeleitete reduzierte Drosselklappenquerschnitt  $\hat{A}_{RED}$  in die Modellrechnung einbezogen. Die Korrekturgröße  $\Delta \hat{A}_{RED}$  wird durch Realisierung eines Modellregelkreises gebildet.

- Für luftmassengeführte Motorsteuerungssysteme ist der mittels des Luftmassenmessers an der Drosselklappe gemessene Luftmassenstrom  $\dot{m}_{DK\_LMM}$  die Führungsgröße dieses Regelkreises, während für saugrohrdruckgeführte Systeme der gemessene Saugrohrdruck  $P_s$  als Führungsgröße genutzt wird. Über eine Folgeregelung wird der Wert von  $\Delta \hat{A}_{RED}$  so bestimmt, daß die Regelabweichung zwischen Führungsgröße und der entsprechenden Regelgröße minimiert wird.
- Um auch im dynamischen Betrieb Genauigkeitsverbesserungen mit der genannten Methode zu erreichen, muß die Meßwerterfassung der Führungsgröße möglichst exakt nachgebildet werden. In den meisten Fällen sind dabei das dynamische Verhalten des Sensors, d.h. entweder des Luftmassenmessers oder des Saugrohrdrucksensors und eine nachfolgend durchgeführte Mittelwertbildung zu berücksichtigen.

- Das dynamische Verhalten des jeweiligen Sensors kann in erster Näherung als ein System erster Ordnung mit eventuell arbeitspunktabhängigen Verzögerungszeiten  $T_1$  modelliert werden. Im Falle eines luftmassengeführten Systems lautet eine mögliche Gleichung zur Beschreibung des Sensorverhaltens

$$\hat{\dot{m}}_{DK\_LMM}[N] = e^{-\frac{T_1}{T_1}} \cdot \hat{\dot{m}}_{DK}[N-1] + \left(1 - e^{-\frac{T_1}{T_1}}\right) \cdot \hat{\dot{m}}_{DK\_LMM}[N-1] \quad (3.12)$$

- Eine Größe, die beim gewählten Ansatz einen wesentlichen Einfluß auf den maximal möglichen Massenstrom  $\hat{\dot{m}}_{Zyl}$  besitzt, ist der Umgebungsdruck  $\hat{P}_U$ . Aus diesem Grund kann nicht von einem konstanten Wert dieser Größe ausgegangen werden, sondern es erfolgt eine Anpassung in der nachfolgend beschriebenen Art und Weise.

Der Wert des Umgebungsdruckes  $\hat{P}_U$  wird verändert, wenn der Betrag der Korrekturgröße  $\Delta \hat{A}_{RED}$  eine bestimmte Schwelle

überschreitet oder wenn das Druckverhältnis  $\frac{\hat{P}_S}{\hat{P}_U}$  größer als eine wählbare Konstante ist. Damit wird gewährleistet, daß sowohl im Teil- als auch im Volllastbereich eine Umgebungsdruckanpassung erfolgen kann.

5

Im folgenden wird ein Modellabgleich für luftmassengeführte Motorsteuerungssysteme erklärt. Für dieses System kann die in Figur 3 dargestellte Modellstruktur angegeben werden.

- 10 Der Drosselklappenstellungsfühler 14 (Figur 1) liefert ein dem Öffnungsgrad der Drosselklappe 11 entsprechendes Signal, z.B. einen Drosselklappenöffnungswinkel. In einem Kennfeld der elektronischen Motorsteuerungseinrichtung sind zu verschiedenen Werten dieses Drosselklappenöffnungswinkels zugehörige Werte für den reduzierten Querschnitt der Drossel-
- 15 klappe  $\hat{A}_{RED}$  abgespeichert. Diese Zuordnung wird durch den Block "statisches Modell" in Figur 3 und in Figur 4 repräsentiert. Das Teilsystem "Saugrohrmodell" in den Figuren 3 und 4 repräsentiert das durch (2.7) beschriebene Verhalten. Führungsgröße dieses Modellregelkreises ist der Meßwert des über ein Segment gemittelten Luftmassenstromes an der Drossel-
- 20 klappe  $\dot{m}_{DK\_LMM}$ . Wird als Regler in diesem Modellregelkreis ein PI-Regler eingesetzt, so ist die bleibende Regelabweichung null, d.h. Modellgröße und Meßgröße des Luftmassenstromes an der Drosselklappe sind identisch.
- 25 Die Pulsationerscheinungen des Luftmassenstromes an der Drosselklappe, die vor allem bei 4-Zylindermotoren zu beobachten sind, führen bei betragsbildenden Luftmassenmessern zu erheblichen positiven Meßfehlern und somit zu einer stark fehlerbehafteten Führungsgröße. Durch eine Abschaltung des
- 30 Reglers, d.h. einer Verkleinerung der Reglerparameter kann zum gesteuerten modellgestützten Betrieb übergegangen werden. Bereiche, in denen die genannten Pulsationen auftreten, können somit mit dem selben Verfahren unter Berücksichtigung dynamischer Zusammenhänge behandelt werden, wie diejenigen Be-
- 35

reiche, in denen eine nahezu ungestörte Führungsgröße vor-  
 liegt. Im Gegensatz zu Verfahren, die relevante Meßwerte nur  
 in stationären Betriebspunkten berücksichtigen, bleibt das  
 beschriebene System nahezu uneingeschränkt arbeitsfähig. Bei  
 5 Ausfall des Luftmassensignals oder des Signals des Drossel-  
 klappenstellungsfühlers ist das vorgestellte System in der  
 Lage, ein entsprechendes Ersatzsignal zu bilden. Bei Ausfall  
 der Führungsgröße muß der gesteuerte Betrieb realisiert wer-  
 den, während im anderen Fall der geregelte Betrieb die kaum  
 10 beeinträchtigte Funktionsfähigkeit des Systems garantiert.

Der Block "Saugrohrmodell" repräsentiert die Verhältnisse wie  
 sie anhand der Gleichung (2.7) beschrieben sind und hat dem-  
 zufolge als Ausgangsgröße die Modellgröße  $\hat{P}_S$  sowie die zeit-  
 15 liche Ableitung  $\dot{\hat{P}}_S$  und die Größe  $\dot{m}_{DK}$ . Nach der Modellierung  
 des Sensorübertragungsverhaltens d.h. des Übertragungsverhal-  
 tens des Luftmassenmessers und der Abtastung wird die Modell-  
 größe  $\dot{m}_{DK\_LMM}$  einer Mittelung unterzogen, so daß die gemit-  
 telte Größe  $\dot{m}_{DK\_LMM}$  und der vom Luftmassenmesser gemessene  
 20 durchschnittliche Luftmassenstrom  $\bar{m}_{DK\_LMM}$  einem Vergleich  
 zugeführt werden können. Die Differenz beider Signale bewirkt  
 eine Änderung  $\Delta \hat{A}_{RED}$  des reduzierten Strömungsquer-schnittes  
 $\hat{A}_{RED}$ , so daß stationär und instationär ein Mo-dellabgleich  
 erfolgen kann.

25 Für saugrohrdruckgeführte Motorsteuerungssysteme wird die in  
 Figur 4 dargestellte Modellstruktur angegeben, wobei gleiche  
 Blöcke wie in Figur 3 gleiche Bezeichnungen tragen. Ebenso  
 wie bei dem luftmassengeführten Motorsteuerungssystem reprä-  
 30 sentiert das Teilsystem "Saugrohrmodell", das durch die Dif-  
 ferenzengleichung (2.7) beschriebene Verhalten. Führungsgröße  
 dieses Modellregelkreises ist der Meßwert des über ein Seg-  
 ment gemittelten Saugrohrdruckes  $\bar{P}_{S,S}$ . Wird ebenfalls wie in  
 Figur 3 ein PI-Regler eingesetzt, so ist im stationären Fall

der Meßwert des Druckes im Saugrohr  $\bar{P}_{s,s}$  mit der Modellgröße  $\hat{P}_{s,s}$  identisch. Wie oben beschrieben, bleibt auch das vorliegende System nahezu uneingeschränkt arbeitsfähig, da bei Ausfall des Saugrohrdrucksignales oder des Meßwertes für den  
5 Drosselklappenwinkel ein entsprechendes Ersatzsignal gebildet werden kann.

Die durch das Saugrohrmodell erhaltenen Modellgrößen  $\hat{P}_s$ ,  $\hat{\dot{P}}_s$  werden einem Block "Prädiktion" zugeführt. Da mit den Model-  
10 len auch die Druckänderungen im Saugrohr berechnet werden, können diese Druckänderungen dazu verwendet werden, den zukünftigen Druckverlauf im Saugrohr und damit die Zylinderluftmasse für das nächste  $[N+1]$  oder für die nächsten Seg-  
mente  $[N+H]$  zu schätzen. Die Größe  $\hat{m}_{zyl}$  bzw. die Größe  
15  $\hat{m}_{zyl}[N+1]$  dienen dann zur exakten Berechnung der Einspritzzeit, während derer Kraftstoff eingespritzt wird.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der einströmenden Luftmasse in den bzw. die Zylinder einer Brennkraftmaschine mit
- 5 - einem Ansaugsystem, das ein Saugrohr (10) und eine darin angeordnete Drosselklappe (11), sowie einen den Öffnungsgrad der Drosselklappe (19) erfassenden Drosselklappenstellungsfühler (14) aufweist,
  - einem, ein Lastsignal ( $\dot{m}_{DK\_LMM}; \dot{P}_{S\_S}$ ) der Brennkraftmaschine
  - 10 erzeugenden Sensor (12; 13)
  - einer elektrischen Steuerungseinrichtung, die auf der Grundlage des gemessenen Lastsignals ( $\dot{m}_{DK\_LMM}; \dot{P}_{S\_S}$ ) und der Drehzahl der Brennkraftmaschine eine Grundeinspritzzeit berechnet,
  - 15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß
  - die Verhältnisse im Ansaugsystem mittels eines Saugrohrfüllungsmodells nachgebildet werden, wobei als Eingangsgrößen des Modells der Öffnungsgrad der Drosselklappe (11), der Umgebungsdruck ( $P_U$ ) und die Ventilstellung repräsentierende Parameter herangezogen werden,
  - 20 - eine Modellgröße für den Luftmassenstrom ( $\hat{m}_{DK}$ ) an der Drosselklappe (11) mit Hilfe der Durchflußgleichung idealer Gase durch Drosselstellen beschrieben wird (Gleichung 2.2),
  - eine Modellgröße für den Luftmassenstrom ( $\hat{m}_{Zyl}$ ) in den bzw.
  - 25 in die Zylinder (17) als lineare Funktion des Saugrohrdrucks ( $\hat{P}_S$ ) durch eine Massenbilanz der Luftmassenströme ( $\hat{m}_{DK}, \hat{m}_{Zyl}$ ) beschrieben wird (Gleichung 2.1)
  - diese Modellgrößen über eine Differentialgleichung verknüpft werden (Gleichung 2.5), daraus als bestimmende Größe
  - 30 zur Ermittlung der tatsächlichen Last der Brennkraftmaschine der Saugrohrdruck ( $\hat{P}_S$ ) berechnet wird (Gleichung 2.7) und
  - aus dem linearen Zusammenhang (Gleichung 2.4) zwischen berechnetem Saugrohrdruck ( $\hat{P}_S$ ) und der Modellgröße für den

Luftmassenstrom ( $\hat{m}_{Zyl}$ ) in den bzw. in die Zylinder (17) durch Integration die in den bzw. in die Zylinder (17) einströmende Luftmasse ( $\hat{m}_{Zyl}$ ) erhalten wird.

- 5 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß das vom Lastsensor (12; 13) gemessene Lastsignal  
( $\bar{m}_{DK\_LMM}$ ;  $\bar{P}_{S\_S}$ ) zur Korrektur und damit zum Abgleich der Mo-  
dellgrößen ( $\hat{m}_{Zyl}$ ) in einem geschlossenen Regelkreis herangezo-  
10 gen wird, wobei das Lastsignal ( $\bar{m}_{DK\_LMM}$ ;  $\bar{P}_{S\_S}$ ) als Führungs-  
größe des Regelkreises dient.
3. Verfahren nach Anspruch 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
15 daß der Abgleich im stationären und/oder instationären Be-  
trieb der Brennkraftmaschine durchgeführt wird und dabei das  
Übertragungsverhalten des Lastsensors (12; 13) berücksichtigt  
wird.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß jedem gemessenen Wert des Drosselklappenöffnungsgrades  
ein Wert eines reduzierten Querschnitts der Drosselklappe  
( $\hat{A}_{RED}$ ) zugeordnet ist und der Abgleich der Modellgrößen durch  
25 Korrektur des reduzierten Querschnitts ( $\hat{A}_{RED}$ ) durch eine Kor-  
rekturgröße ( $\Delta \hat{A}_{RED}$ ) derart erfolgt, daß die Regelabweichung  
zwischen Führungsgröße und entsprechender Modellgröße mini-  
miert wird.
- 30 5. Verfahren nach Anspruch 4,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß der reduzierte Querschnitt ( $\hat{A}_{RED}$ ) aus stationären Messun-  
gen am Motorprüfstand ermittelt wird und in einem Kennfeld  
eines Speichers der elektrischen Steuerungseinrichtung abge-  
35 legt ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1,



dadurch gekennzeichnet,  
 daß bei der Darstellung der Modellgröße für den Luftmas-  
 senstrom ( $\dot{m}_{DK}$ ) an der Drosselklappe (11) eine in der Durch-  
 flußgleichung (Gleichung 2.2) vorhandene Durchflußfunktion  
 5 ( $\psi$ ) in einzelne Abschnitte ( $i = 1 \dots k$ ) unterteilt wird und  
 diese Abschnitte durch Geradenabschnitte angenähert werden,  
 wobei für die Steigung ( $m_i$ ) und für das Absolutglied ( $n_i$ ) der  
 jeweiligen Geradenabschnitte als Funktion des Verhältnisses  
 von Saugrohrdruck ( $\hat{P}_S$ ) und Umgebungsdruck ( $\hat{P}_U$ ) bestimmt sind  
 10 und in einem Kennfeld abgelegt sind.

7. Verfahren nach Anspruch 1,  
 dadurch gekennzeichnet,  
 daß die Steigung ( $\gamma_1$ ) und das Absolutglied ( $\gamma_0$ ) der linearen  
 15 Funktion für die Modellgröße für den Luftmassenstrom in den  
 bzw. in den Zylinder ( $\dot{m}_{Zyl}$ ) abhängig von mindestens einem  
 der Parameter, Drehzahl der Brennkraftmaschine, Zylinderzahl,  
 Saugrohrgeometrie, Temperatur der Luft ( $T_S$ ) im Ansaugrohr  
 (10) und Ventilsteuerzeichen festgelegt sind.

20

8. Verfahren nach Anspruch 7,  
 dadurch gekennzeichnet,  
 daß die Parameter durch stationäre Messungen am Motorprüfstand  
 ermittelt werden und in Kennfelder abgelegt sind.

25

9. Verfahren nach Anspruch 1,  
 dadurch gekennzeichnet,  
 daß die in den Zylinder einströmende Luftmasse ( $\hat{m}_{Zyl}$ ) durch  
 die Beziehung

30

$$\hat{m}_{Zyl}[N] = \frac{T_A}{2} \cdot \left( \hat{m}_{Zyl}[N-1] + \hat{m}_{Zyl}[N] \right)$$

berechnet wird, mit

$T_A$ : Abtastzeit oder Segmentzeit

$\hat{\dot{m}}_{Zyl}[N]$  Modellgröße des Luftmassenstromes während des aktuellen Abtastschrittes oder Segments

$\hat{\dot{m}}_{Zyl}[N-1]$  Modellgröße des Luftmassenstromes während des vergangenen Abtastschrittes oder Segmentes.

5

10. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die in den bzw. in die Zylinder einströmende Luftmasse ( $\hat{\dot{m}}_{Zyl}$ ) für einen, bezüglich der aktuellen Lasterfassung zum

10 Abtastzeitpunkt  $[N]$  in der Zukunft liegenden, bestimmten Prädiktionshorizont (H) geschätzt wird durch Schätzung des entsprechenden Druckwertes nach folgender Beziehung:

$$\hat{\dot{m}}_{Zyl}[N+H] = T_A \cdot \left( \gamma_1 \cdot \left\{ \hat{P}_S[N] + (H-0.5) \cdot \frac{T_A}{2} \cdot \left[ \hat{P}_S[N-1] + \hat{P}_S[N] \right] \right\} + \gamma_0 \right)$$

15

mit

$T_A$ : Abtastzeit oder Segmentzeit

H: Prädiktionshorizont, Anzahl der in der Zukunft liegenden Abtastschritte

20  $\gamma_1$ : Steigung der linearen Gleichung

$\gamma_0$ : Absolutglied zur Bestimmung von  $\hat{\dot{m}}_{Zyl}$

N: aktueller Abtastschritt

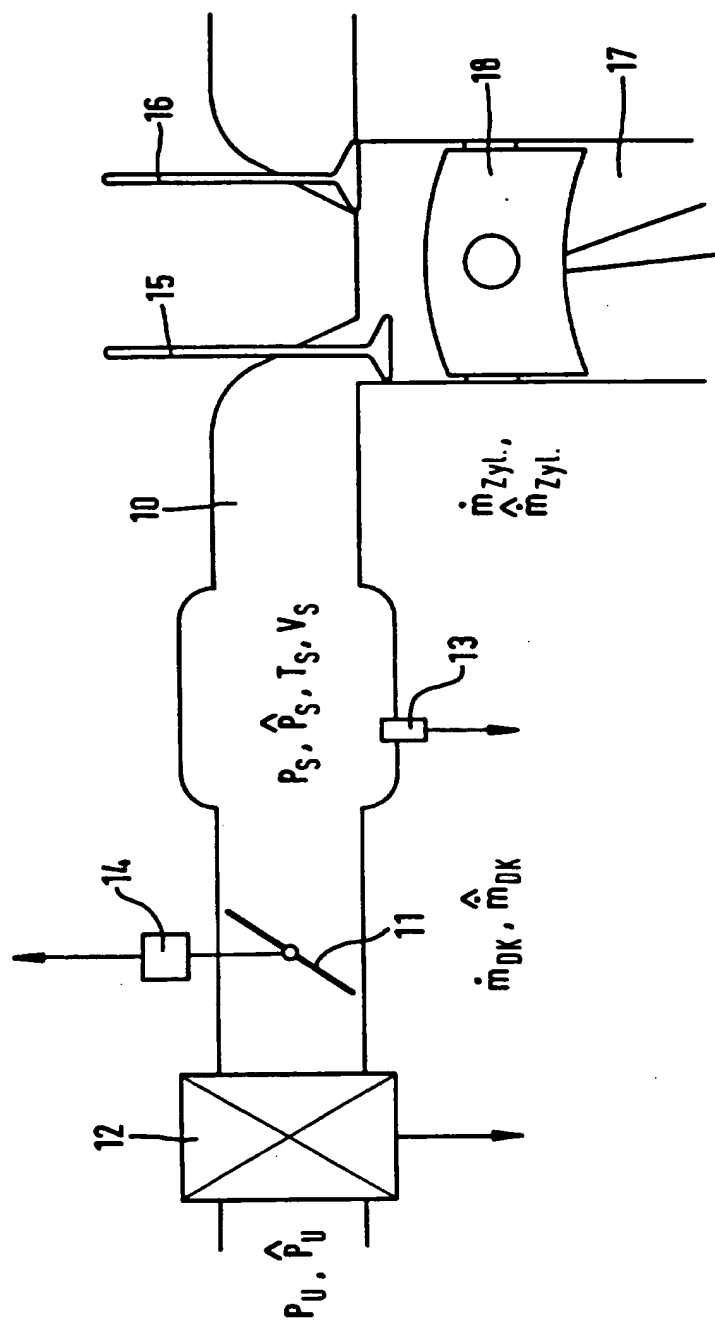
11. Verfahren nach Anspruch 10,

25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die Anzahl (H) von Segmenten, für die das Lastsignal für die Zukunft geschätzt werden soll, drehzahlabhängig festgelegt ist.

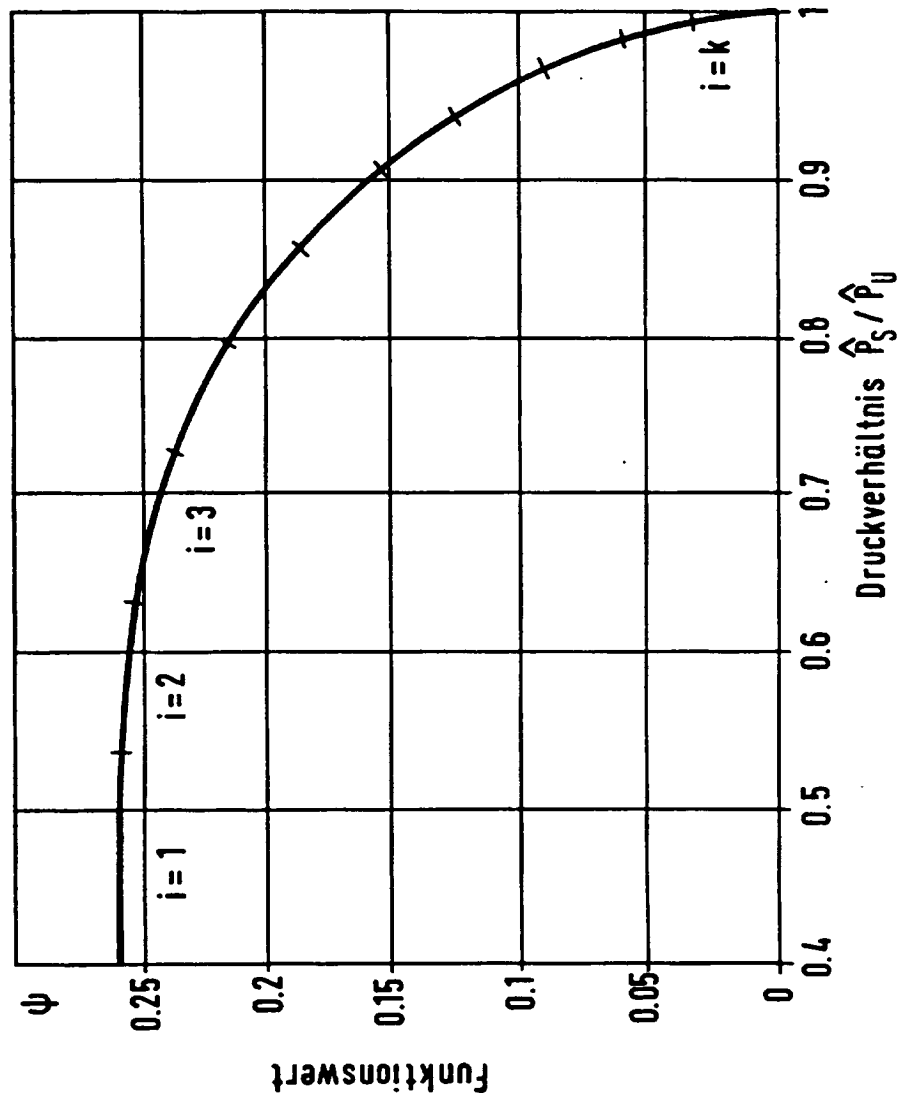
1 / 4

FIG 1



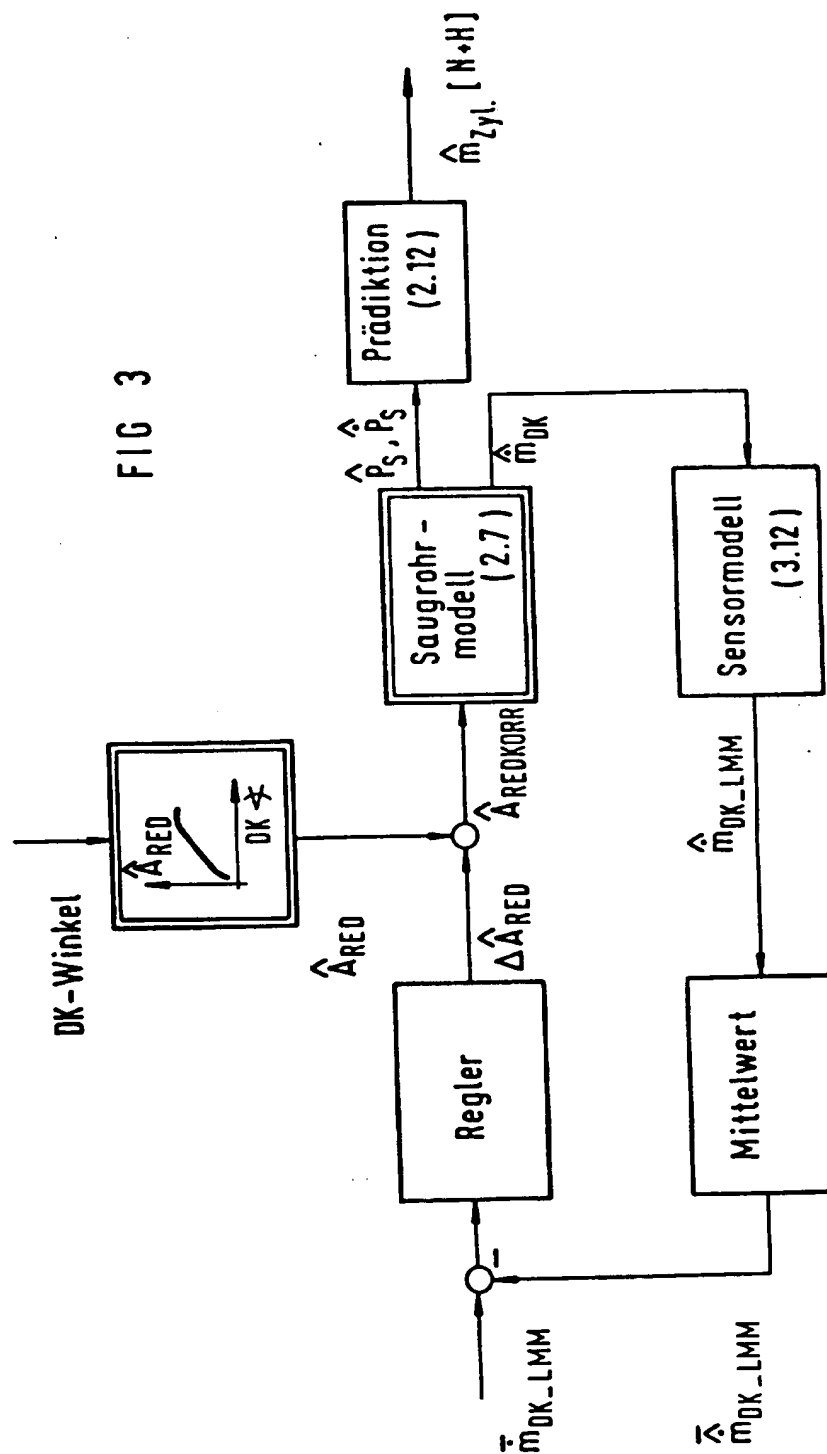
2 / 4

FIG 2



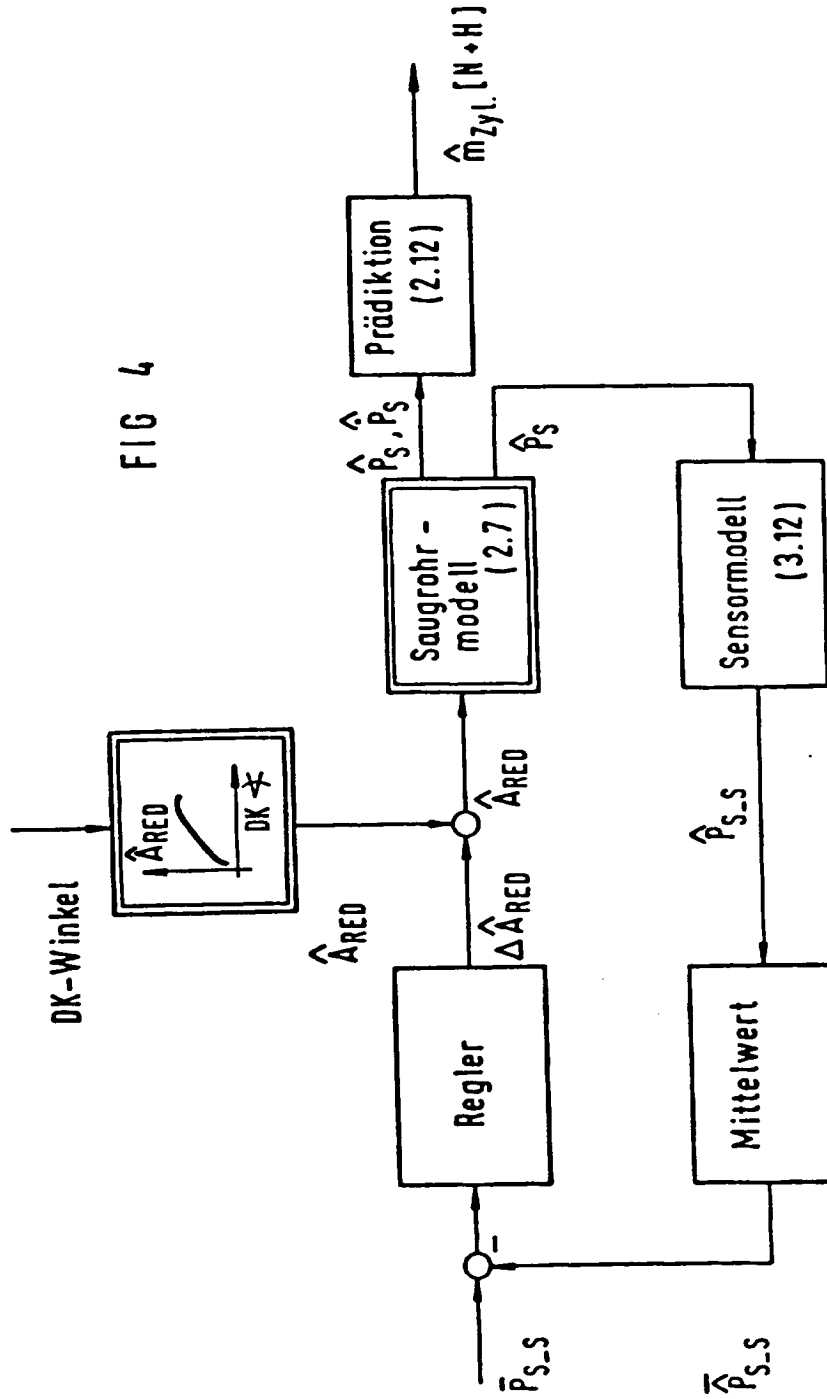
3 / 4

FIG 3



4 / 4

FIG 4



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 96/00615

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 F02D41/18 F02D41/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP,A,0 594 114 (HONDA MOTOR CO LTD) 27 April 1994 see the whole document ---	1-5,7, 9-11
A	GB,A,2 225 877 (FUJI HEAVY IND LTD) 13 June 1990 see page 1, line 1 - page 9, line 2 ---	1,4-6,9, 10
A	EP,A,0 326 065 (HITACHI LTD) 2 August 1989 see page 2, line 15 - page 9, line 18 ---	1,5
A	DE,A,43 25 902 (BOSCH GMBH ROBERT) 9 February 1995 see the whole document ---	1
A	DE,A,39 19 448 (TOYOTA MOTOR CO LTD) 21 December 1989 -----	

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 August 1996

Date of mailing of the international search report

22. 08. 96

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Moualed, R

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 96/00615

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0594114	27-04-94	JP-A- 6185391	05-07-94
		JP-A- 7042600	10-02-95
		US-A- 5349933	27-09-94
-----			
GB-A-2225877	13-06-90	JP-A- 2157451	18-06-90
		DE-A- 3940385	13-06-90
		US-A- 4967715	06-11-90
-----			
EP-A-0326065	02-08-89	DE-T- 68904437	04-04-96
		JP-A- 2070957	09-03-90
		KR-B- 9406050	02-07-94
		US-A- 5012422	30-04-91
-----			
DE-A-4325902	09-02-95	WO-A- 9504215	09-02-95
		EP-A- 0680556	08-11-95
		JP-T- 8502113	05-03-96
-----			
DE-A-3919448	21-12-89	JP-A- 1315635	20-12-89
		JP-B- 7026584	29-03-95
		JP-A- 2042160	13-02-90
		US-A- 5003950	02-04-91
		US-A- 5069184	03-12-91
-----			



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 96/00615

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 F02D41/18 F02D41/14

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 F02D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP,A,0 594 114 (HONDA MOTOR CO LTD) 27.April 1994 siehe das ganze Dokument ---	1-5,7, 9-11
A	GB,A,2 225 877 (FUJI HEAVY IND LTD) 13.Juni 1990 siehe Seite 1, Zeile 1 - Seite 9, Zeile 2 ---	1,4-6,9, 10
A	EP,A,0 326 065 (HITACHI LTD) 2.August 1989 siehe Seite 2, Zeile 15 - Seite 9, Zeile 18 ---	1,5
A	DE,A,43 25 902 (BOSCH GMBH ROBERT) 9.Februar 1995 siehe das ganze Dokument ---	1
A	DE,A,39 19 448 (TOYOTA MOTOR CO LTD) 21.Dezember 1989 -----	

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12.August 1996

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

22.08.96

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Moualed, R

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 96/00615

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP-A-0594114	27-04-94	JP-A- 6185391	05-07-94
		JP-A- 7042600	10-02-95
		US-A- 5349933	27-09-94
GB-A-2225877	13-06-90	JP-A- 2157451	18-06-90
		DE-A- 3940385	13-06-90
		US-A- 4967715	06-11-90
EP-A-0326065	02-08-89	DE-T- 68904437	04-04-96
		JP-A- 2070957	09-03-90
		KR-B- 9406050	02-07-94
		US-A- 5012422	30-04-91
DE-A-4325902	09-02-95	WO-A- 9504215	09-02-95
		EP-A- 0680556	08-11-95
		JP-T- 8502113	05-03-96
DE-A-3919448	21-12-89	JP-A- 1315635	20-12-89
		JP-B- 7026584	29-03-95
		JP-A- 2042160	13-02-90
		US-A- 5003950	02-04-91
		US-A- 5069184	03-12-91

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**